نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۴۹۴-۴۸۱

Journal of Iranian Plant Protection Research
Vol. 35, No. 4, Winter 2022, P. 481-494

مقاله پژوهشی

تأثیر کوددهی عناصر ریزمغذی در گیاه فلفل دلمه، *Capsicum annuum* L. بر رشد جمعیت پشه شته‌خوار، *Aphidoletes aphidimyza* Rondani با تغذیه از شته سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer)

مجید میراب بالو[1*]- طیبه علی زمانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۱

چکیده

روابط میان گیاه-گیاه‌خوار-دشمن طبیعی بسیار پیچیده بوده و کیفیت گیاهان میزبان در سطح اول تغذیه می‌تواند پارامترهای زیستی دشمن طبیعی را در سطح سوم تغذیه‌ای تحت تأثیر قرار دهد. پشهٔ شته‌خوار *Aphidoletes aphidimyza* Rondani در مرحله‌ی لاروی شکارگر اختصاصی گونه‌های مختلف ها شته از جمله شتهٔ سبز هلو *Myzus persicae* (Sulzer) است. در بررسی حاضر، تأثیر محلول‌پاشی گیاه فلفل دلمه، *Capsicum annuum* L. با کودهای ریزمغذی آهن، روی، مس و منگنز در مقایسه با شاهد روی پارامترهای زیستی و رشد جمعیت پشهٔ شته خوار *A. aphidimyza* در تغذیه از شته سبز هلو مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده، محلول‌پاشی فلفل دلمه با کودهای ریزمغذی پارامترهای زیستی و جدول زندگی شکارگر را تحت تاثیر قرار داد و منجر به افزایش باروری، طول عمر حشرات کامل نر و ماده و دوره تخم‌ریزی شد. بیشترین و کمترین میزان باروری شکارگر به ترتیب در تیمار آهن (۳۹/۵ تخم) و شاهد (۲۴/۶۹ تخم) مشاهده شد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) پشه شته خوار در تیمار آهن بیشترین (به‌ترتیب ۰/۱۴۸ و ۱/۱۶۰ بر روز) و در شاهد کمترین (به‌ترتیب ۰/۰۹۷ و ۱/۱۰۲ بر روز) بود. بیشترین و کمترین مقادیر نرخ خالص تولید مثل (R_0) شکارگر نیز به ترتیب در تیمارهای آهن و شاهد (۱۵/۸ و ۶/۴۲ ماده/ماده/نسل) ثبت شد. هم‌چنین، کمترین میانگین طول یک نسل (T)، *A. aphidimyza* در تیمار منگنز (۱۸/۰۹۶ روز) به دست آمد. بنابراین، استفاده از عناصر ریزمغذی با بهبود کیفیت گیاهان میزبان حشرات گیاه‌خوار می‌تواند با تأثیر مثبت بر زیست‌شناسی و جدول زندگی شکارگر *A. aphidimyza* در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شته سبز هلو مورد استفاده موثر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش سه سطحی، پشهٔ شته‌خوار، جدول زندگی دو جنسی، عناصر ریزمغذی

مقدمه

فلفل دلمه‌ای، با نام علمی *Capsicum annuum* L.، گیاهی یک‌ساله، متعلق به تیره‌ی بادمجانیان و از محصولات مهم جالیزی است که غنی از مواد مغذی، ویتامین‌ها و آنتی اکسیدان‌های مهم برای سلامت انسان می‌باشد. موطن اولیه این گیاه کشور مکزیک و آمریکای جنوبی است (۲۹). فلفل دلمه‌ای در معرض حمله‌ی آفات و بیماری‌های مختلف قرار می‌گیرد که موجب کاهش کیفیت و کمیت این محصول می‌شود. یکی از مهم‌ترین آفات آن شته‌ی سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer)، می‌باشد که حشره‌ای چندین‌خوار با دامنه میزبانی وسیع است. این آفت با تغذیه از شیره گیاهی و انتقال بیمارهای ویروسی خسارت شدیدی در گیاهان میزبان ایجاد می‌کند (۱۲). به طور معمول برای کنترل شته‌ها از حشره‌کش‌های مختلف به ویژه سموم فسفره استفاده می‌شود. کاربرد بی‌رویه آفت‌کش‌ها علاوه بر صرف هزینه‌های بالا و تهدید سلامتی انسان و محیط زیست پیامدهایی مانند ایجاد مقاومت حشرات، از بین رفتن حشرات مفید، آلودگی محیط زیست، افزایش جمعیت آفات ثانویه و طغیان مجدد آفات دارد (۵). بنابراین استفاده از روش‌های جایگزین و البته سازگار با زیست بوم‌های زراعی الزامی است. کنترل بیولوژیک یکی از مهم‌ترین اجزا و بخش‌های مدیریت تلفیقی آفات است که با توجه به

۱- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.mirabbalou@ilam.ac.ir)
۲- دانش‌آموخته دکتری حشره‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

DOI: 10.22067/JPP.2021.70745.1028

سازگاری این روش با دیگر روش‌های کنترل آفات و خطر کمتر نسبت به استفاده از سموم شیمیایی می‌تواند نقش و اهمیت قابل توجهی در مدیریت تلفیقی آفات داشته باشد (۳۱). یکی از مهم‌ترین دشمنان طبیعی گونه‌های مختلف شته در اکوسیستم‌های زراعی، پشهٔ شته‌خوار *Aphidoletes aphidimyza* Rondani است (۳۰). لاروهای این شکارگر ابتدا با تزریق سم به بدن شته باعث فلج شدن طعمه می‌شوند و سپس با ایجاد سوراخ در ناحیهٔ قفس سینه طعمه، شروع به تغذیه از محتویات بدن آن می‌کنند (۲۳). پشهٔ شته‌خوار *A. aphidimyza* به علت سازگاری با بیشتر آفت‌کش‌ها و تغذیه اختصاصی از جمعیت شته‌ها از سال ۱۹۷۰ به عنوان عامل کنترل بیولوژیک گونه‌های مختلف شته در محصولات گلخانه‌ای مطرح شده است (۲۰، ۲۴، ۲۶ و ۳۶). تعیین کارایی یک عامل بیوکنترل مناسب می‌تواند از طریق ارزیابی پارامترهای زیستی و رشد جمعیت با استفاده از مدل‌های مربوط به سیستم شکار- شکارگر انجام گیرد.

استفاده از عناصر غذایی کم مصرف و کودهای ریزمغذی که به مقدار کمتر از عناصر غذایی اصلی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم مصرف می‌شوند، می‌تواند با بهبود کیفیت رشد و عملکرد محصول به عنوان ابزاری برای رسیدن به حداکثر تولید محصول و کاهش خسارت آفات مورد توجه قرار گیرد. عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی، مس و منگنز از اجزای اصلی در ساختار آنزیم‌ها و پروتئین‌های گیاهان هستند و نقش مهمی در فرآیندهای سلولی، فتوسنتز، تقسیم سلولی و سنتز ماکرومولکول‌ها دارند (۱۵ و ۱۹). محلول‌پاشی این عناصر به علت فقدان آن‌ها در خاک می‌تواند باروری خاک، کیفیت رشد و میزان مواد شیمیایی دفاعی گیاهان را بهبود بخشد که به نوبه خود می‌توانند بر ویژگی‌های اکولوژی و فیزیولوژی گیاه‌خواران و متعاقباً سطوح غذایی بالاتر آن‌ها یعنی دشمنان طبیعی تأثیر بگذارند (۸، ۱۵ و ۲۱). گزارش‌های متعدد حاکی از ارتباط بین کوددهی با کیفیت محصول و تاثیر آن بر رشد جمعیت حشرات آفات و دشمنان طبیعی آن‌ها می‌باشد. از سوی دیگر گزارش‌هایی مبنی بر نقش گیاهان بر روابط متقابل دشمنان طبیعی و حشرات گیاه‌خوار ارائه شده است. به عنوان مثال گیاهان به عنوان یکی از عوامل موثر بر تخمریزی *A. aphidimyza* گزارش شده‌اند (۲۵). مطالعه تاثیر کود نیتروژن در سه سطح غذایی نشان می‌دهد که نیتروژن در روابط متقابل گیاه–گیاه‌خوار موثر است. به طوری که، این عنصر نه تنها کیفیت گیاه را به عنوان غذا برای گیاه‌خوار تغییر می‌دهد بلکه از طریق حشره گیاه‌خوار به طور گسترده روی دشمن طبیعی آن تاثیر می‌گذارد (۶). در یک تحقیق دیگر، متقی‌نیا و همکاران (۲۷) تاثیر گیاه میزبان (نوع رقم) و مقدار کود ورمی‌کمپوست را بر اغلب پارامترهای زیستی شته جالیز، *Aphis gossypii* Glover و پشهٔ شته‌خوار *A. aphidimyza* گزارش کردند. با توجه به این که تاکنون در ایران در ارتباط با تاثیر عناصر ریزمغذی روی ویژگی‌های زیستی و جدول زندگی پشهٔ شته‌خوار *A. aphidimyza* مطالعه‌ای صورت نگرفته است، لذا در تحقیق حاضر، تاثیر کاربرد کودهای ریزمغذی در گیاه فلفل دلمه و تاثیر آن بر پارامترهای زیستی و رشد جمعیت پشهٔ شته‌خوار *A. aphidimyza* با تغذیه از شته سبز هلو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق می‌تواند در مدیریت شته سبز هلو و کاهش خسارت ناشی از آن در مزارع و گلخانه‌ها موثر باشد.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاهان میزبان

بذر گیاه فلفل دلمه (رقم کالیفرنیا واندر) مورد استفاده در این پژوهش از شرکت گلپاد استان اصفهان تهیه شد. به منظور تسهیل در رشد و جوانه‌زنی، بذور این گیاه در داخل دستمال کاغذی مرطوب در ظروف پتری شیشه‌ای (به قطر ۹ و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر) به مدت ۱۰ روز خیسانده شد. هر بذر در داخل گلدان پلاستیکی با قطر دهانه ۱۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در مخلوطی از خاک و ماسه (به‌ترتیب با نسبت دو به یک) در گلخانه با شرایط دمای ۵±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد با دوره نوری طبیعی کاشته شد. مقداری از خاک مورد استفاده برای کاشت گلدان‌ها به عنوان نمونه برای آزمایش تجزیه خاک و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد استفاده قرار گرفت. خاک مورد استفاده حاوی ۵/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، ۰/۱۴۰ درصد نیتروژن، ۱/۲۳ درصد کلسیم، ۰/۰۲ درصد پتاسیم، ۰/۰۳۶ درصد سدیم، ۰/۰۶۲ درصد منیزیم با اسیدیته ۷/۴۳ و هدایت الکتریکی ویژه آن ۰/۴۸۱ دسی‌سیمینز بر متر (ds/m) بود.

تیمارهای مورد مطالعه

این تحقیق در سال ۱۳۹۹ در گلخانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۵۰ تکرار در هر تیمار انجام شد. تیمار کودی، محلول‌پاشی گیاهان فلفل با استفاده از ریزمغذی‌ها در مرحله رشدی چهار تا شش برگی بود. سطوح تیمار شامل: (۱) محلول‌پاشی با ریزمغذی منگنز ۵ درصد به میزان یک میلی‌لیتر در یک لیتر آب، (۲) محلول‌پاشی با ریزمغذی مس ۴ درصد به میزان یک میلی‌لیتر در یک لیتر آب، (۳) محلول‌پاشی ریزمغذی روی ۷ درصد به میزان یک میلی‌لیتر در یک لیتر آب، (۴) محلول‌پاشی با ریزمغذی آلفا آهن ۱۳ درصد به میزان ۱/۷ گرم در یک لیتر آب و (۵) محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد بدون کوددهی انجام گرفت.

پرورش حشرات

جمعیت اولیهٔ شته سبز هلو از یک کلنی آزمایشگاهی موجود در آزمایشگاه تحصیلات تکمیلی گروه گیاهپزشکی دانشگاه لرستان- خرم‌آباد تهیه شد. شته‌ها با قلم موی نازک روی گیاهان فلفل دلمه

کاشته شده در گلخانه منتقل شدند. بـه منظـور جلـوگیری از پارازیتـه شدن شته‌ها، گیاهان مذکور در قفس‌های ساخته شده از پارچه تـوری محصور شدند قبل از شروع آزمایش‌ها، شته سـبز هلـو حـداقل چهـار نسل روی گیاهان کوددهی شده پرورش یافت.

جمعیت اولیه پشهٔ شته‌خوار از گلخانه‌های پرورش خیار آلـوده بـه شته‌ی جالیز تهیه شد. شناسایی پشهٔ شـته‌خـوار *A. aphidimyza* در مرحله حشره کامل انجام شـد (۱۳). بـه منظـور تـأمین منبـع غـذایی مطلوب (عسلک) و بستر مناسب تخم‌ریزی برای پشـهٔ شـته‌خـوار *A. aphidimyza* از بوته‌های آلوده به شتهٔ سبز هلـو اسـتفاده شـد. ایـن بوتـه‌هـا در گلخانـه داخـل قفـس‌هـای طلقـی شـفاف (۶۰×۶۰×۶۰ سانتی‌متر) قرار داده شدند. لاروهای خارج شده از تخـم، از شـته‌هـای موجود بر روی برگ‌های آلوده به عنوان منبع غذایی استفاده نمودنـد. برای رهاسازی پشه شته‌خوار روی گیاهان مـذکور، شـفیره‌هـای ایـن شکارگر داخل ظروف حاوی ماسه مرطوب (جهت حفـظ رطوبـت) بـه داخل قفس‌ها منتقل شدند تا حشـرات کامـل پـس از خـارج شـدن از شفیره، جفت‌گیری کرده و تخم‌ها را در کلنی شته‌هـا قـرار دهنـد. بـه منظور تداوم کلنی پشهٔ شـته‌خـوار *A. aphidimyza*، گیاهـان سـالم آلوده به شته داخل قفس‌های حاوی پشـه انتقـال داده مـی‌شـد. پشـهٔ شته‌خوار *A. aphidimyza* در هر یک از تیمارهای مورد بررسی قبل از شروع آزمایش‌ها دو نسل پرورش یافت.

نحوه انجام آزمایش‌ها

برای بررسی زیست‌شناسی و جدول زندگی زادآوری پشهٔ شته‌خوار *A. aphidimyza* با تغذیه از شتهٔ سبز هلو پرورش یافته روی هر یک از تیمارهای آزمایشی، از ظروف پلاسـتیکی شـفاف بـه ابعـاد ۴×۷×۸ سانتی‌متر استفاده شد. برای تامین تهویهٔ این ظروف سوراخی به ابعـاد ۲×۳ سانتی‌متر در سرپوش هر ظرف ایجاد و با پارچه‌ی توری ظریـف پوشانده شد. در کف هر ظرف یک برگ تهیه شده از گیاهان کوددهی شده با ریزمغذی‌های مختلف روی یک لایه پنبه‌ی مرطوب قـرار داده شد، به طوری که سـطح زیـرین بـرگ رو بـه بـالا باشـد. در ابتـدای آزمایش یک عدد تخم تازه گذاشته شده با عمـر کمتـر از ۱۲ سـاعت روی برگ فلفل دلمه با استفاده از قلم موی ظریف قرار داده شد. طول دوره جنینی تخم (۵۰ تخم در هر تیمـار)، زنـده‌مـانی و طـول دوره‌ی لاروی شکارگر در هر تیمار ثبت شد. طی آزمایش روزانه مخلـوطی از سنین مختلف شته (۶۰ شته از سنین سوم و چهارم پوره‌گی و بیش از حد مورد نیاز یک فرد شکارگر) در هر یک از تیمارهای آزمایشی، برای تغذیه لاروهای پشـه شـته‌خـوار *A. aphidimyza*، بـه تفکیـک روی برگ‌های هر یک از تیمارها قرار داده شد. پیش از وارد شدن لاروهای پشه به مرحله‌ی شفیرگی، مقداری ماسه‌ی استریل جهت مهیا کـردن بستر شفیرگی در اطراف برگ‌ها ریخته شـد. طـول دورهٔ شـفیرگی در تیمارهای مختلف ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامـل، یـک جفـت حشره‌ی کامل نر و ماده (۱۵ جفت برای هر تیمار) به داخل هر ظـرف آزمایش حاوی برگ آلوده به شتهٔ سبز هلو رهاسازی شد. عسلک زیـاد تولید شده توسط شته‌ها روی سطح برگ‌ها، بـرای تغذیـه‌ی حشـرات کامل مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب طول دوره‌هـای پـیش از تخم‌گذاری، تخم‌گذاری و نیز طول عمر حشرات کامـل نـر و مـاده و زادآوری آن‌ها تا زمان مرگ آخرین فرد مورد بررسی قرار گرفت.

برای برآورد پارامترهای رشد جمعیت شـکارگر شـامل نـرخ ذاتـی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افـزایش جمعیـت (λ)، نـرخ خـالص تولید مثل (R_0)، نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) و میانگین طول یـک نسل (T) و همینطور پارامترهای زیستی شامل نرخ بقای ویژه سـنی- مرحلهٔ رشدی (S_{xj})، نرخ بقای ویژهٔ سـنی (l_x)، بـاروری ویـژه سـنی- مرحلهٔ رشدی (f_{xj}) و باروری ویژهٔ سنی (m_x) از روش جدول زندگی دو جنسی (۷) استفاده شد.

تجزیه داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های خام به دست آمده از مراحل زیستی پشهٔ شـته خـوار *A. aphidiomyza* در تغذیـه از شـته سـبز هلـو روی تیمارهای مختلف، با استفاده از روش جدول زندگی دو جنسی سـنی- مرحلهٔ رشدی در نرم‌افزار TWOSEX- MSChart توصیف شـده بـه وسیله چی (۷) صورت گرفت. برای تکراردار کردن پارامترهـا از روش بوت استرپ با ۱۰۰۰۰۰ تکرار استفاده شـد. مقایسـه اخـتلاف آمـاری پارامترها با استفاده از روش Paired Bootastrap در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسـل انجـام شد.

نتایج

تاثیر کودهای ریزمغذی بر پارامترهای زیستی شـکارگر *A. aphidimyza*

براساس نتایج به دست آمده، طول دوره‌های جنینـی تخـم (۰/۰۵ > P، ۲۴۵ و ۴ =df، ۱۳۷۴/۱۸۱ =F)، لاروی (۰/۰۵ > P، ۱۷۶ و ۴ =df، ۷۱۹/۲۱۶ =F) و شـــــــــفیرگی (۰/۰۵ > P، ۱۵۲ و ۴ =df، ۱۷۶/۱۶۵ =F) پشهٔ شته‌خوار *A. aphidimyza* در تیمارهای مختلـف معنی‌دار بود (جدول ۱). طول دوره جنینی تخم (۳/۳۴ روز) و شفیرگی (۸/۲۳ روز) در تیمار شاهد بـیش‌تـرین بـود. طـول دوره رشـد لاروی شکارگر (۴/۷۶ و ۴/۶۰ روز) نیز در تیمارهای روی و آهن بـیش‌تـر از سایر تیمارها به دست آمد. تاثیر کوددهی و تغذیه از شته‌های پـرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با ریزمغذی‌های مختلف بـر طـول عمـر حشـرات کامـل نـر (۰/۰۵ > P، ۶۸ و ۴ =df، ۶۶/۰۰۹ =F) و مـاده (۰/۰۵ > P، ۷۹ و ۴ =df، ۹۷/۵۳۲ =F) شکارگر معنی‌دار بود (جـدول ۱). به طوری‌که در مقایسه با شاهد، کوددهی منجر به افـزایش طـول

عمر حشرات کامل نر و ماده شکارگر شد (جدول ۱). هم‌چنین، تاثیر کوددهی بر دورهٔ زیستی (۰/۰۵ > P، ۱۵۲ و ۴ =df، ۵۳/۳۴۷ =F) و زادآوری شکارگر (۰/۰۵ > P، ۷۹ و ۴ =df، ۱۷۸/۷۴۴ =F) معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین دورهٔ زیستی (۲۱/۲۸۵ روز) و زادآوری شکارگر (۳۹/۵۰ تخم) در تیمار ریزمغذی آهن ثبت شد دورهٔ پیش از تخم‌ریزی حشرات ماده پشهٔ شته‌خوار (APOP) یعنی مدت زمان ظهور حشرات کامل تا اولین تخم‌ریزی در تیمارهای مختلف معنی‌دار نبود و در همه تیمارها برابر یک بود. اما کل دورهٔ پیش از تخم‌ریزی (TPOP) یعنی بازه زمانی از مرحله‌ی تخم تا اولین تخم‌ریزی حشره کامل (۰/۰۵ > P، ۷۹ و ۴ =df، ۴۰/۱۴۵ =F) و روزهای تخم‌ریزی (۰/۰۵ > P، ۷۹ و ۴ =df، ۸۶/۸۵ =F) معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین (۱۶/۱۵۳ روز) و کمترین (۱۴/۸۲۳ روز) مقادیر دورهٔ پیش از تخم‌ریزی کل شکارگر به ترتیب در تیمارهای شاهد و منگنز مشاهده شد. بیشترین (۶/۴ روز) و کمترین (۵/۱۵۳ روز) دورهٔ تخم‌ریزی حشرات ماده *A. aphidimyza* به ترتیب با تغذیه از شته‌های پرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با ریزمغذی آهن و شاهد به دست آمد و بین ریزمغذی آهن با دیگر ریزمغذی‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

جدول ۱- میانگین (± خطای معیار) دورهٔ رشد و نمو و طول عمر افراد بالغ *Aphidoletes aphidimyza* در تغذیه از شته سبز هلو *Myzus persicae* پرورش یافتهٔ روی فلفل دلمه *Capsicum annuum* L. تیمار شده با کودهای ریزمغذی

Table 1- The mean (±) of developmental time period and adult individuals' longevity of *Aphidoletes aphidimyza* fed on *Myzus persicae* reared on bell pepper *Capsicum annuum* L. treated with micronutrient fertilizers.

تیمار Treatment	تخم Egg	لارو Larvae	شفیره Pupa	طول عمر ماده Female-longevity	طول عمر نر Male-longevity
شاهد Control	3.34±0.10a	3.47±0.09c	8.23±0.15a	6.153±0.153c	4.769±0.199c
آهن Fe	2.34±0.07c	4.60±0.11a	7.43±0.10b	7.450±0.133a	6.200±0.323a
منگنز Mn	2.34±0.07c	4.05±0.11b	7.41±0.12b	7.352±0.239ab	5.823±0.211ab
مس Cu	2.76±0.10b	4.15±0.14b	7.59±0.17b	6.875±0.238b	5.307±0.260bc
روی Zn	2.32±0.07c	4.76±0.11a	7.67±0.13b	7.111±0.224ab	5.466±0.234ab

خطای استاندارد با ۱۰۰۰۰۰ بوت استرپ محاسبه شد و اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون بوت استرپ جفت شده براساس فاصله اطمینان است.

The standard errors were estimated via 100,000 bootstraps and compared through paired bootstrap test based on confidence intervals of differences.

جدول ۲- میانگین (± خطای معیار) برخی پارامترهای زیستی *Aphidoletes aphidimyza* تغذیه شده از شته سبز هلو *Myzus persicae* پرورش یافتهٔ روی فلفل دلمه *Capsicum annuum* L. تیمار شده با کودهای ریزمغذی

Table 2- The mean (±) of some biological parameters of *Aphidoletes aphidimyza* fed on *Myzus persicae* reared on bell pepper *Capsicum annuum* L. treated with micronutrient fertilizers.

تیمار Treatment	دورهٔ پیش از تخم‌ریزی افراد بالغ APOP	کل دوره پیش از تخم‌ریزی افراد بالغ TPOP	زادآوری Fecundity	چرخه‌ی زیستی Life span	روزهای تخم‌ریزی Ovi-days
شاهد Control	1±0a	16.153±0.295a	24.69±1.750d	20.576±0.292ab	5.153±0.153b
آهن Fe	1±0a	15.300±0.204bc	39.50±1.252a	21.285±0.246a	6.400±0.132a
منگنز Mn	1±0a	14.823±0.296c	36.76±2.224ab	20.441±0.293b	6.294±0.251a
مس Cu	1±0a	15.375±0.442abc	32.50±1.679bc	20.517±0.345ab	5.875±0.238a
روی Zn	1±0a	15.611±0.213ab	28.83±2.018cd	21.030±0.277ab	6.111±0.224a

خطای استاندارد با ۱۰۰۰۰۰ بوت استرپ محاسبه شد و اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون بوت استرپ جفت شده براساس فاصله اطمینان است.

The standard errors were estimated via 100,000 bootstraps and compared through paired bootstrap test based on confidence intervals of differences.

تاثیر کودهای ریزمغذی بر پارامترهای رشد جمعیت *A. aphidimyza*

تاثیر تغذیهٔ از شته‌های پرورش یافته روی گیاهان فلفل دلمه تیمار شده با کودهای ریزمغذی بر پارامترهای رشد جمعیت *A. aphidimyza* معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج به دست آمده، محلول‌پاشی گیاهان با کودهای ریزمغذی منجر به افزایش معنی‌دار نرخ ذاتی افزایش جمعیت، (P < ۰/۰۵، ۲۴۵ و ۴ =df، ۱۲۹/۱۸۳ =F)، نرخ متناهی افزایش جمعیت، (P < ۰/۰۵، ۲۴۵ و ۴ =df، ۱۲۹/۱۸۷ =F)، نرخ خالص تولید مثل، (P < ۰/۰۵، ۲۴۵ و ۴ =df، ۱۱۲/۴۶۶ =F) و نرخ ناخالص تولید مثل، (P < ۰/۰۵، ۲۴۵ و ۴ =df، ۹۹/۸۴۹ =F) در مقایسه با شاهد شد. بیشترین مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت (۰/۱۴۸ بر روز)، نرخ خالص تولید مثل (۱۵/۸۰ ماده/ماده/نسل) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (۱/۱۶۰ بر روز) در ریزمغذی آهن و کمترین مقدار این پارامترها در شاهد مشاهده شد. همچنین بیشترین (۳۸/۱۴ ماده/ماده/نسل) و کمترین (۱۹/۹۲ ماده/ماده/نسل) مقادیر نرخ ناخالص تولید مثل *A. aphidimyza* با تغذیه از شته‌های پرورش یافته در گیاهان فلفل تیمار شده با ریزمغذی مس و شاهد ثبت شد بیشترین (۱۹/۰۰۳ روز) و کمترین (۱۸/۰۹۶ روز) مقادیر میانگین طول یک نسل شکارگر *A. aphidimyza* به ترتیب در تیمارهای شاهد و ریزمغذی منگنز به دست آمد.

جدول ۳- میانگین (± خطای معیار) پارامترهای جدول زندگی *Aphidoletes aphidimyza* تغذیه شده از شته سبز هلو *Myzus persicae* پرورش یافتهٔ روی فلفل دلمه *Capsicum annuum* L. تیمار شده با کودهای ریزمغذی

Table 3- The mean (±) of demographic parameters of *Aphidoletes aphidimyza* fed on *Myzus persicae* reared on bell pepper *Capsicum annuum* L. treated with micronutrient fertilizers

تیمار Treatment	نرخ ذاتی افزایش جمعیت r (day^{-1})	نرخ خالص تولیدمثل R_0 (offspring/individual)	نرخ متناهی افزایش جمعیت λ (day^{-1})	میانگین طول یک نسل T (day)	نرخ ناخالص تولیدمثل GRR (offspring)
شاهد Control	0.097±0.014b	6.42±1.595b	1.102±0.015b	19.003±0.375ab	19.92±3.364b
آهن Fe	0.148±0.010a	15.80±2.774a	1.160±0.011a	18.579±0.187ab	27.57±3.988ab
منگنز Mn	0.139±0.012a	12.50±2.569a	1.149±0.013a	18.096±0.293b	29.09±4.346ab
مس Cu	0.128±0.012ab	10.40±2.203ab	1.137±0.014ab	18.235±0.541ab	38.14±6.782a
روی Zn	0.123±0.011ab	10.38±2.090ab	1.131±0.012ab	18.878±0.228a	23.75±3.393ab

خطای استاندارد با ۱۰۰۰۰۰ بوت استرپ محاسبه شد و اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون بوت استرپ جفت شده براساس فاصله اطمینان است.

The standard errors were estimated via 100,000 bootstraps and compared through paired bootstrap test based on confidence intervals of differences.

تاثیر کودهای ریزمغذی بر نرخ بقا ویژه سنی-مرحلهٔ رشدی (S_{xj})، باروری ویژه سنی-مرحلهٔ رشدی (f_{xj})، باروری ویژه سنی (m_x) و زادآوری ویژه سنی ($l_x m_x$) پشه‌ی شته‌خوار

تاثیر تیمارهای ریزمغذی بر نرخ بقای ویژه سنی-مرحلهٔ رشدی (S_{xj}) پشه‌ی شته‌خوار که احتمال زنده ماندن هر فرد در سن x و رشد تا مرحلهٔ j را نشان می‌دهد در شکل ۱ نمایش داده شده است. همینطور به علت تفاوت و تغییرات در زمان رشد افراد مختلف یک جمعیت در منحنی بقای ویژه سنی هم‌پوشانی مراحل مختلف رشدی دیده می‌شود. براساس نتایج، حداکثر نرخ بقای مراحل لاروی شکارگر در تیمارهای آهن، روی و مس در روزهای ۴، ۳ و ۵ بود. همچنین بیشترین نسبت زنده‌مانی مراحل شفیره‌گی (۰/۸ درصد)، حشرات کامل ماده (۰/۴ درصد) و نر (۰/۳۲ درصد) به ترتیب در تیمارهای آهن و منگنز مشاهده شد. باروری ویژه سنی- مرحلهٔ رشدی (f_{xj}) و میزان باروری ویژه- سنی (mx) *A. aphidimyza* روی تیمارهای مختلف ریزمغذی در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین مقادیر باروری ویژه سنی- مرحلهٔ رشدی پشه‌ی شته‌خوار ۷/۳۳، ۷/۰۵، ۶/۵۸، ۵/۹۴ و ۵/۵ تخم به‌ترتیب در روزهای ۲۲، ۱۹، ۱۷، ۱۸ و ۲۰ در تیمارهای مس، آهن، منگنز، روی و شاهد بود. شروع باروری ویژهٔ-سنی شکارگر در تیمارهای مس، آهن، منگنز، روی و شاهد به ترتیب در روزهای ۱۱، ۱۳، ۱۳، ۱۴ و ۱۴ بود. بیشترین مقادیر باروری ویژه سنی به ترتیب برابر ۵/۵، ۴/۲۷، ۴، ۳/۴۵ و ۴ تخم در روزهای ۲۲، ۱۹، ۱۹، ۱۸ و ۲۱ در تیمارهای فوق‌الذکر مشاهده شد. حداکثر

زادآوری ویژه سنی (l_xm_x) *A. aphidimyza* یعنی حداکثر تعداد تخم تولیده شده در هر روز به‌ترتیب برابر ۱/۶۸، ۲/۸۲، ۲/۲۴، ۲/۱۴ و ۱/۳۶ تخم در روزهای ۱۷، ۱۹، ۱۷، ۱۸ و ۱۷ در تیمارهای مس، آهن، منگنز، روی و شاهد بود. امید به زندگی (e_{xj}) *A. aphidimyza* با تغذیه از شته سبز هلو درگیاهان فلفل دلمه‌ای تیمار شده با ریزمغذی‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین امید به زندگی شکارگر در اولین روز از مراحل تخم، لارو و شفیره به ترتیب برابر با ۱۷/۹۸، ۱۵/۹۸ و ۱۵/۳۵ روز در ریزمغذی آهن بود. بیشترین امید به زندگی در حشرات کامل ماده و نر به‌ترتیب برابر ۱۱/۲۵ و ۷/۶۸ روز در روزهای ۱۰ و ۱۲ در ریزمغذی مس و منگنز بود کمترین امید به زندگی تمامی مراحل رشدی *A. aphidimyza* در تیمار شاهد مشاهده شد.

بحث

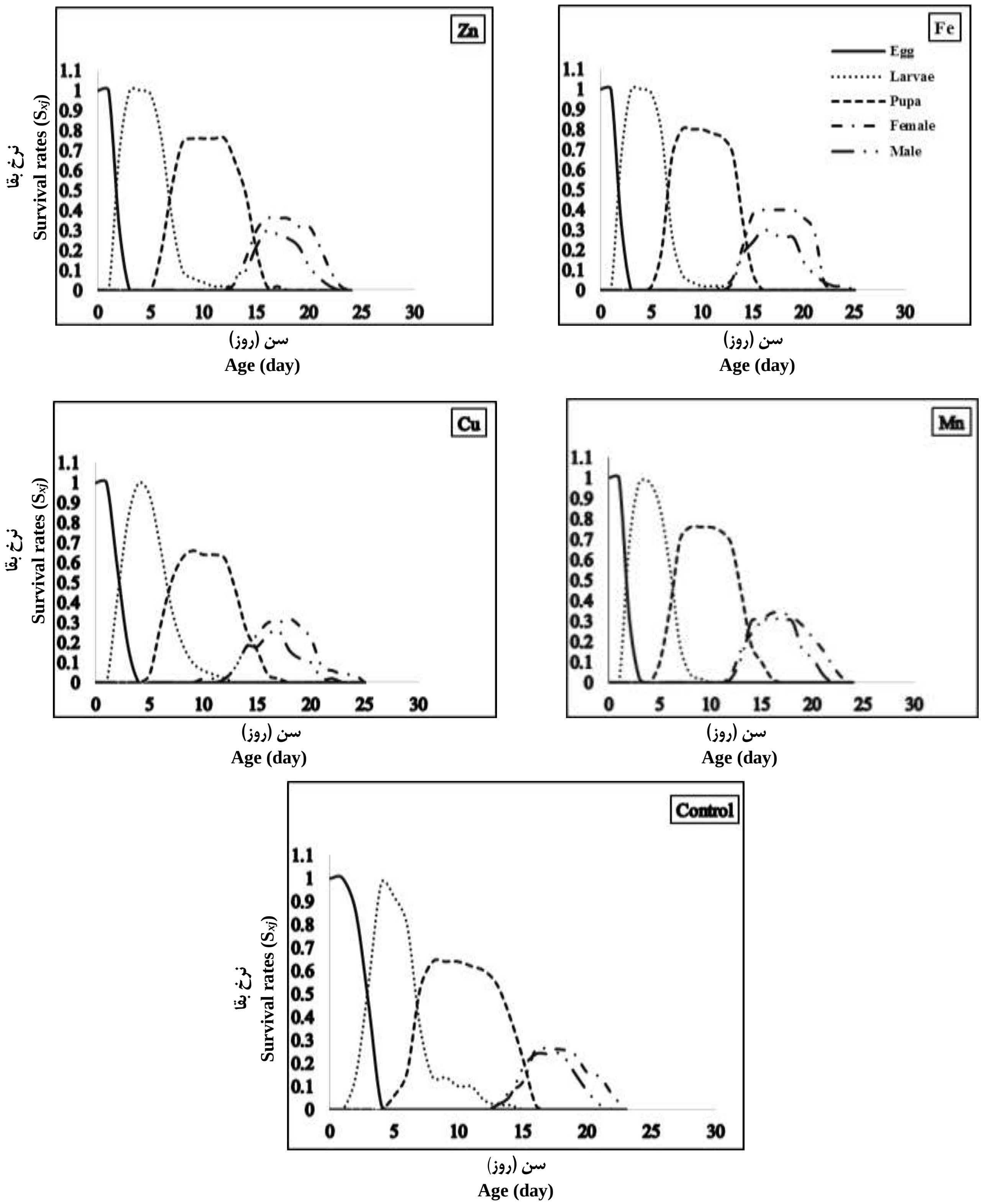
روابط و اثرات متقابل سه سطح تغذیه‌ی اصلی زیست بوم‌های کشاورزی یعنی گیاهان، گیاهخواران و دشمنان طبیعی بسیار پیچیده می‌باشد (۳۵). گیاهان میزبان به عنوان سطح اول تغذیه، پارامترهای زیستی و فیریولوژیک حشره گیاهخوار و دشمن طبیعی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (۱۸). از طرفی دینامیسم جمعیت حشرات شکارگر آفات گیاهی به کیفیت گیاهان میزبان آفت وابسته است (۳۲).

نتایج بررسی حاضر نشان داد که تغذیه از شته سبز هلو پرورش یافته روی فلفل دلمهٔ تیمار شده با کودهای ریزمغذی پارامترهای زیستی و جدول زندگی *A. aphidimyza* را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد. دوره جنینی تخم، شفیره‌گی و کل دوره رشد و نمو پیش از بلوغ شکارگر در تیمارهای ریزمغذی در مقایسه با شاهد کوتاه‌تر و دورهٔ رشد لاروی، دورهٔ تخم‌ریزی، باروری و طول عمر حشرات کامل نر و ماده شکارگر در تیمارهای ریزمغذی نسبت به شاهد طولانی‌تر بود. با توجه به فعالیت تغذیه‌ای و قدرت شکارگری *A. aphidimyza* در مرحله لاروی از شته‌ها، می‌توان گفت که محلول‌پاشی گیاهان فلفل دلمه با کودهای ریزمغذی با تاثیر بر رشد و کیفیت مواد غذایی سطوح پایین و میانی زنجیره غذایی (گیاه-گیاهخوار) تاثیر مثبتی بر رشد و نمو *A. aphidimyza* داشت. همچنین براساس نتایج به دست آمده در بررسی حاضر، محلول‌پاشی گیاهان فلفل دلمه‌ای با عناصر ریزمغذی منجر به افزایش طول عمر حشرات کامل شکارگر در تیمارهای ریزمغذی نسبت به شاهد شد که طبیعتاً افزایش نرخ تولیدمثل و باروری شکارگر را در پی داشت. از طرفی باروری حشرات کامل ماده *A. aphidimyza* به تغذیه لاروها بستگی دارد و طولانی‌تر شدن دورهٔ رشد لاروی در تیمارهای ریزمغذی با توجه به قدرت اختصاصی آن‌ها در این مرحله رشدی برای تغذیه از شته‌ها می‌تواند منجر به افزایش باروری و طول عمر حشرات کامل شکارگر شود.

نتایج بررسی حاضر حاکی از کاهش دوره پیش از تخم‌ریزی کل (TPOP) شکارگر در تیمارهای ریزمغذی در مقایسه با شاهد بود. در واقع محلول‌پاشی گیاهان با عناصر ریزمغذی زمان رسیدن به تخم‌ریزی شکارگر را کاهش داد. این یافته با نتایج گزارش شده فلاح‌پور و همکاران (۱۰) در بررسی سطوح مختلف کوددهی نیتروژن در گیاه کلزا با شتهٔ خردل (*Lipaphis erysimi* Kalt) و پشهٔ شکارگر (*A. aphidimyza*) همخوانی دارد.

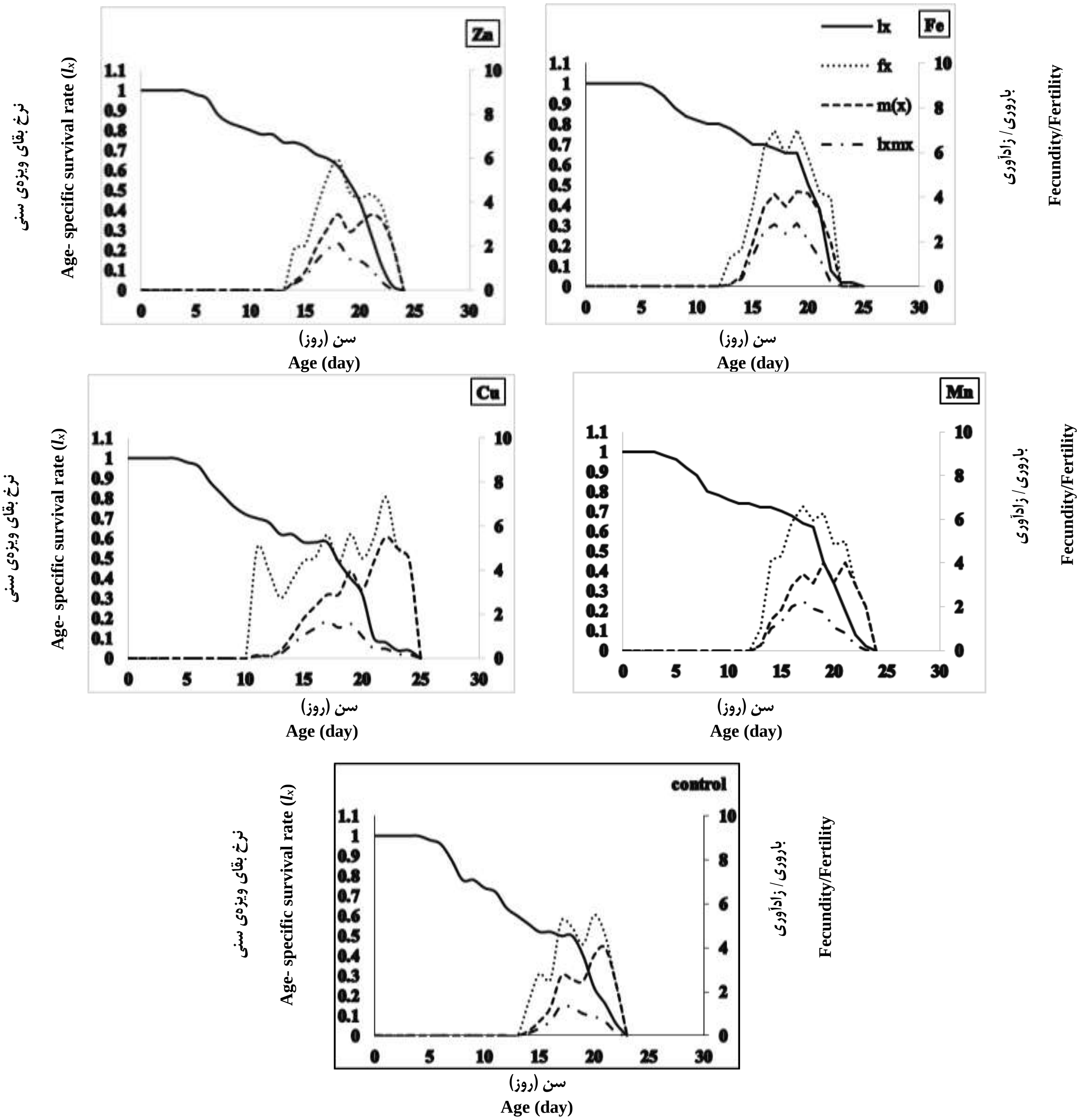
منبع غذایی با کیفیت بالا، منجر به کاهش دورهٔ پیش از تخم‌ریزی، بلوغ زودرس تخمدان‌ها و طولانی‌تر شدن دورهٔ تخم‌ریزی می‌شود (۱۷ و ۲۸). همچنین گزارش شده است که کیفیت طعمه بر باروری، طول عمر و بقا حشرات تاثیر دارد (۳) و کیفیت پایین‌تر مواد غذایی، رشد و نمو و دوره کمون تخم را به تاخیر می‌اندازد (۳۳) که نتایج بررسی حاضر هم حاکی از بهبود کیفیت طعمه با کاربرد عناصر ریزمغذی است.

جدول زندگی می‌تواند توصیف جامعه‌ای از رشد و نمو، بقا و باروری یک جمعیت را ارائه دهد و در میان پارامترهای رشد جمعیت، نرخ ذاتی افزایش جمعیت به عنوان مهم‌ترین شاخص کلیدی نشان دهندهٔ تاثیر کلی طعمه، تغذیه و شرایط محیطی بر ویژگی‌های رشد، تولیدمثل، بقا، باروری و سازگاری جمعیت حشرات است (۳۴). محلول‌پاشی گیاهان فلفل دلمه‌ای با کودهای ریزمغذی به ویزه آهن و بعد منگنز منجر به افزایش معنی‌دار مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ خالص تولید مثل (R_0)، نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) شد که حاکی از اهمیت کیفیت تغذیه گیاه از طریق محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی و تاثیر مثبت آن بر رشد و نمو شکارگر بود. در حقیقت تغذیه گیاه با مواد مغذی، بقا، تغذیه و رشد طعمه و شکارگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱،۱۴). مقادیر نرخ ذاتی و نرخ خالص تولید مثل به دست آمده در این مطالعه مشابه مقادیرگزارش شده به وسیله سایر محققین است (۱۰، ۱۶ و ۲۴). افزایش مقادیر پارامترهای رشد جمعیت شکارگر به ویژه شاخص r در تیمارهای ریزمغذی نسبت به شاهد را می‌توان به پتانسیل تولیدمثل بیشتر شکارگر در تیمارهای ریزمغذی به علت تغذیه مناسب و جذب سریع‌تر مواد غذایی در گیاه میزبان نسبت داد. کودهای ریزمغذی به ویژه آهن و منگنز با تغییر در کیفیت گیاهان میزبان حشرات گیاهخوار، منجر به بهبود جنبه‌های مختلفی از ویژگی‌های زیستی و جدول زندگی سطح غذایی بالاتر (دشمن طبیعی) در برهمکنش گیاه- گیاهخوار شده‌اند. در این تحقیق، گیاهان فلفل دلمه تیمار شده با ریزمغذی‌های آهن و منگنز با تاثیر بر ارزش غذایی گیاهان میزبان، منجر به افزایش قابل توجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ خالص تولید مثل، طول عمر حشرات بالغ ماده، متوسط تخم‌ریزی روزانه و زادآوری پشه شته‌خوار *A. aphidimyza* در مقایسه با سایر تیمارهای ریزمغذی و به ویژه شاهد شده است.



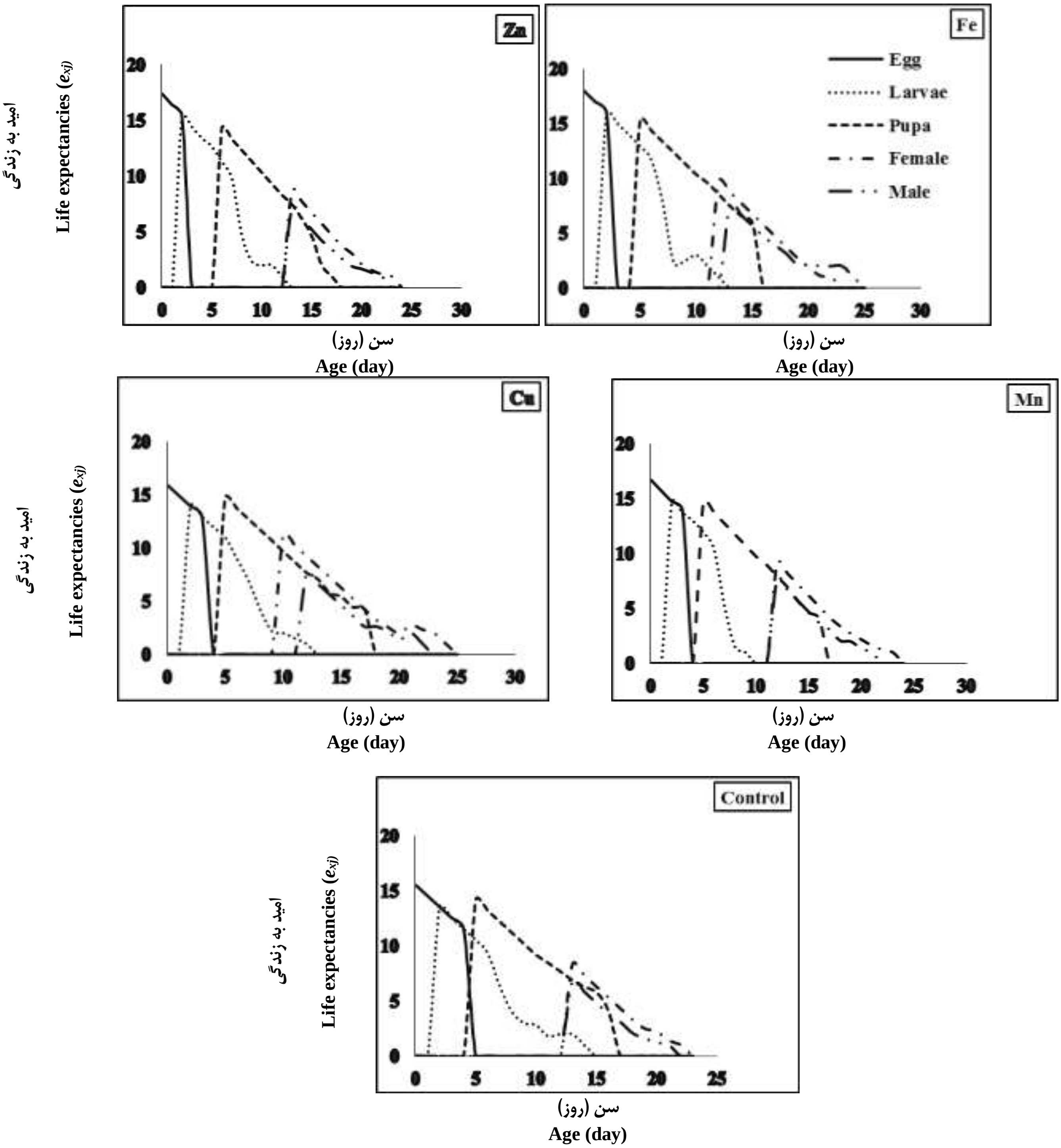
شکل ۱- نرخ بقای ویژه سنی-مرحلهٔ رشدی پشه شته‌خوار *Aphidoletes aphidimyza* تغذیه کرده از شته سبز هلو *Myzus persicae* پرورش یافته روی فلفل دلمه، *Capsicum annuum* تیمار شده با کودهای ریزمغذی

Figure 1- The age-stage specific survival rates (*Sxj*) of *Aphidoletes aphidimyza* fed on *Myzus persicae* reared on bell pepper *Capsicum annuum* L. treated with micronutrient fertilizers



شکل ۲- نرخ بقا ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سنی-مرحله رشدی (f_x)، باروری ویژه سنی (m_x) و نرخ ناخالص باروری ویژه سنی (l_xm_x) پشه شته‌خوار، *Aphidoletes aphidimyza* تغذیه کرده از شته سبز هلو، *Myzus persicae* پرورش یافته روی فلفل دلمه تیمار شده با کودهای ریزمغذی

Figure 2- The survival rate (*lx*), age-stage specific fecundity (*fx*), age-specific fecundity (*mx*) and age-specific fertility (*lxmx*) of of *Aphidoletes aphidimyza* fed on *Myzus persicae* reared on bell pepper *Capsicum annuum* L. treated with micronutrient fertilizers



شکل ۳- امید به زندگی سنی-مرحله‌ی (e_{xj}) پشه شته‌خوار، *A. aphidimyza* تغذیه کرده از شته سبز هلو، *M. persicae* پرورش یافته روی فلفل دلمه تیمار شده با کودهای ریزمغذی

Figure 3- The age-stage life expectancies (*exj*) *Aphidoletes aphidimyza* fed on *Myzus persicae* reared on bell pepper *Capsicum annuum* L. treated with micronutrient fertilizers

بهبـود پارامترهـای رشـد جمعیـت کفشـدوزک *Hippodamia variegata* (Goeze) در تغذیـه از شـته جـالیز (*Aphis gossypii* Glover) روی گیاهان خیار تیمار شده با نسبت‌های مختلـف ورمـی-کمپوست مربوط به اهمیـت تغذیـه و کیفیـت ارزش غـذایی گیاهـان میزبان، ترکیبات شیمیایی آن‌ها و متعاقباً تـاثیر بـر طعمـه (شـکار) و سطح غذایی بالاتر (دشمن طبیعی) گزارش شده است (۱). در تحقیـق

دیگر، ترکیبات شیمیایی ثانویه گیاهان میزبان مانند محتوای گوسیپول بالا در پنبه در سطح مقاومت آنتی‌بیوز گیاه میزبان و تاثیر مثبت آن بر رشد و نمو *Propylaea japonica* در سطح سوم تغذیه گزارش شده است (۹). چنان که، آفات گیاه‌خوار با دریافت ترکیبات شیمیایی موجود در گیاه، می‌توانند تاثیر قابل توجهی بر پارامترهای نشو و نمای دشمنان طبیعی داشته باشند (۴). بر اساس نتایج بررسی حاضر، محلول‌پاشی گیاهان با کودهای ریزمغذی میانگین طول یک نسل (T)، *A. aphidimyza* را در مقایسه با شاهد کاهش داد. این یافته با گزارش ارائه شده در ارتباط با کاربرد کود نیتروژن و کاهش میانگین طول یک نسل پشهٔ شته‌خوار همسو است (۱۰). کوددهی و تغذیه مناسب گیاهان منجر به جبران خسارت شته خردل و تاثیر مثبت بر کارایی پشه شته‌خوار *A. aphidimyza* و بهبود عملکرد گیاهان کلزا شده است (۱۱). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاهان از عوامل تاثیرگذار در جلب حشرات گیاه‌خوار می‌باشد، به طوری که می‌توانند نشو و نمای مراحل قبل از بلوغ، بقا، تولید مثل و پارامترهای رشد جمعیت حشرات را تحت تاثیر قرار دهد (۲۲). مقایسه منحنی‌های بقا، باروری و امید به زندگی *A. aphidimyza* با تغذیه از شته سبز هلو پرورش یافتهٔ روی گیاهان فلفل دلمهٔ تیمار شده با کودهای ریزمغذی نیز نشان داد که کوددهی و محلول‌پاشی گیاهان با عناصر ریزمغذی مقادیر S_{xj}، f_{xj}، m_x و e_x شکارگر را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. در یک بررسی تاثیر کود نیتروژن روی روابط سه سطح غذایی (۶) نشان داد که اثر نیتروژن بر کارایی موفقیت آمیز دشمن طبیعی از طریق تاثیر بر کمیت و کیفیت مواد فرار گیاهی ناشی از آسیب حشره گیاه‌خوار، تغییر در ساختار گیاه و یا تغییر در کیفیت غذای مصرفی دشمن طبیعی است. همچنین گزارش شده است که کوددهی کلزا به طور قابل توجهی بر عملکرد *A. aphidimyza* به عنوان شکارگر شته خردل موثر است (۸).

محلول‌پاشی گیاهان با عناصر غذایی کم مصرف با ایجاد تعادل تغذیه‌ای در گیاه از طریق جذب سریع‌تر و آسان‌تر موادغذایی، کاهش هزینه تولید را به دنبال دارد (۳۷). همچنین براساس نتایج ما در این مطالعه و یافته‌های قبلی، کاربرد این عناصر نه تنها باعث بهبود پارامترهای رشدی گیاهان میزبان از طریق تاثیر بر فعالیت‌های آنزیمی و فیزیولوژی گیاهان می‌شوند بلکه با تاثیر بر تولید فنول و ترکیبات ثانویه‌ی دفاعی، بافت گیاهی را برای تغذیه آفت نامطبوع کرده و با مکانیسم مقاومت آنتی‌بیوز گیاهان در برابر آفت به طبع ویژگی‌های زیستی و جدول زندگی دشمن طبیعی گیاهخوار را تحت تاثیر قرار می‌دهند (۲). در این راستا به نظر می‌رسد که کاهش پارامترهای رشد پیش از بلوغ، میانگین طول یک نسل شکارگر و افزایش پارامترهایی مانند باروری، دورهٔ تخم‌ریزی، طول عمر حشرات کامل و پارامترهای رشد جمعیت از جمله r و R_0 شکارگر در تیمارهای ریزمغذی به ویژه در تیمارهای آهن و منگنز حاکی از آن بود که کاربرد عناصر ریزمغذی با تاثیر بر برهمکنش فلفل دلمه- شته سبز هلو، بر کارایی شکارگر *A. aphidimyza* موثر بود

بنابراین کاربرد عناصر غذایی کم مصرف با توجه به خطرات زیست محیطی کمتر در مقایسه با کودهای شیمیایی و نیز با بهبود کیفیت گیاهان میزبان می‌تواند در برنامه‌های کنترل تلفیقی شته سبز هلو به ویژه در محصولات گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Alizamani T., Razmjou J., Naseri B., Hassanpour M., Asadi A., and Kerr Ch. 2017. Effect of vermicompost on life history of *Hippodamia variegata* preying on *Aphis gossypii* Glover. Journal of the Entomological Research Society 19(1): 51–60.
2. Alizamani T., Shakarami J., Mardani-Talaee M., Zibaee A., and Serrão J.E. 2020. Direct interaction between micronutrients and bell pepper (*Capsicum annum* L.), to affect fitness of *Myzus persicae* (Sulzer). Journal of Plant Protection Research 60: 253-262.
3. Arshad M., Ullah M.I., Shahid U., Tahir M., Khan M., Rizwan M., Abrar M., and Niaz M.M. 2020. Life table and demographic parameters of the coccinellid predatory species, *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville (Coleoptera: Coccinellidae) when fed on two aphid species. Egyptian Journal of Biological Pest Control 30: 79.
4. Awmack C.S., and Leather S.R. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. Annual Review of Entomology 47: 817- 844.
5. Bolandandam J., Barker H., and Fenton B. 2004. Differences in potato leaf roll transmitting ability of individual genotypes of Scottish *Myzus persicae* with different susceptibilities to Lambda- cyhalothrin insecticide. In: Proceedings of *15th International Plant Protection Congress*, 11-16 May., Beijing, China, 221 pp.
6. Chen Y., Dawn M., Olson J., and Ruberson R. 2010. Effects of nitrogen fertilization on tritrophic interactions. Arthropod-Plant Interactions 4: 81–94.
7. Chi H. 2018. TWOSEX-MSChart: A Computer Program for the Age-stage, Two Sex Life Table Analysis. Available in: http://140.120.197.173/ Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.zip. (Accessed 12 June 2018).
8. Dehghani-Yakhdani H., Iranipour Sh., Mehrnejad M.R., and Farshbaf-Pourabad R. 2019. The role of iron (Fe) in

the population dynamics of pistachio psyllid, *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Aphalaridae) in Pistacia orchards. European Journal of Entomology 116: 194–200.
9. Du L., Ge F., Zhu S., and Parajulee M.N. 2004. Effect of cotton cultivar on development and reproduction of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) and its predator *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). Journal of Economic Entomology 97: 1278-1283**.**
10. Fallahpour F., Ghorbani R., Nassiri Mahallati M., and Hosseini M. 2015. Interaction of different nitrogen fertilization regimes of canola with mustard aphid (*Lipaphis erysimi* Kalt.) and the predatory gall midge (*Aphidoletes aphidimyza* Rondani). Biological Control of Pests and Plant Diseases 4: 1-12. (In Persian with English abstract)
11. Fallahpour F., Ghorbani R., Nassiri Mahallati M., Hosseini M. 2020. Plant fertilizationhelps plants to compensate for aphid damage, positively affects predator efficiency and improves canola yield. Journal of Pest Science 93: 251-260.
12. Fenton B., Kasprowicz L., Malloch G., and Pickup J. 2010. Reproductive performance of asexual clones of the peach-potato aphid, *Myzus persicae*, (Homoptera: Aphididae), colonising Scotland in relation to host plant and field ecology. Bulletin of Entomological Research 100: 451–460.
13. Gagné R.J. 1971. The genus *Aphidoletes* Kieffer (Diptera: Cecidomyiidae) in NorthAmerica. Entomological News 82: 177- 181.
14. Ghafouri Moghaddam M., Golizadeh A., Hassanpour M., Rafiee-Dastjerdi H., and Razmjou J. 2016. Demographic traits of *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Sitobion avenae* Fabricius (Hemiptera: Aphididae). Journal of Crop Protection 5: 431–445
15. Hansch R., and Mendel, R.R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current opinion in plant Biology 12(3): 259-66.
16. Havelka J., and Zemek R. 1999. Life table parameters and oviposition dynamics of various populations of the predacious gall-midge *Aphidoletes aphidimyza.* Entomologia Experimentalis et Applicata 91: 481-484.
17. Honek A. 1980. Population density of aphid at the time of settling and ovariole maturation in *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Entomophaga 23: 213–216
18. Kalushkov P., and Hodek I. 2004. The effects of thirteen species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Coccinella septempunctata*. Biological Control 50: 223-233.
19. Khosa S.S., Younis A., Rayit A., Yasmeen S., and Riaz A. 2011. Effect of Foliar Application of Macro and Micro Nutrients on Growth and Flowering of *Gerbera jamesonii* L. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 11(5): 736–757.
20. Labafi Y. 1995. Biology of *Aphidoletes aphidimyza* and methods of laboratory rearing. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian)
21. Lahijie M.F. 2012. Application of micronutrients $FeSO_4$ and $ZnSO_4$ on the growth and development of gladiolus variety "Oscar". International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4: 718- 720.Lahijie M.F. 2012. Application of micronutrients $FeSO_4$ and $ZnSO_4$ on the growth and development of Gladiolus variety "Oscar". International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4(11): 718–720.
22. Liu Z., Li D., Gong, P.Y., and Wu K.J. 2004. Life table studies of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on different host plants. Environmental Entomology 33: 1570- 1576.
23. Lucas E., and Brodeur J. 2001. A fox in sheep's clothing: furtive predator benefit from the communal defense of their prey. Ecology 82: 3246- 3250.
24. Madahi K., Sahragard A., and Hosseini R. 2013. Influence of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) density on life table parameters of *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae) under laboratory conditions. Journal of Crop Protection 2: 355- 368.
25. Mansour M.H. 1975. The role of plants as a factor affecting oviposition by *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). Entomologia Experimentalis et Applicata 18: 173-179.
26. Meadow R.H., Kelly W.C., and Shelton A.M. 1985. Evaluation of *Aphidoletes aphidimyza* (Dip.: Cecidomyiidae) for control of *Myzus persicae* (Hom.: Aphididae) in greenhouse and field experiments in the United States. Entomophaga 30: 385-392.
27. Mottaghinia L., Hassanpour M., Razmjou J., Chamani E., and Hosseini M. 2015. The effect of vermicompost on some biological characteristics of the melon aphid *Aphis gossypii* Glover and the predatory gall midge *Aphidoletes aphidimyza* Rondani on two cultivars of greenhouse cucumber. Applied research in plant protection 4(2): 56-70.
28. Omkar O., Srivastava S. 2003. Influence of six aphid prey species on development and reproduction of ladybird beetle, *Coccinella septempunctata*. Biological Control 48: 379–393.
29. Sanatombi K., and Sharma G.J. 2007. Micropropagation of *Capsicum annuum* L. using axillary shoot explants. Scientia Horticulturae 113: 96-99.
30. Schmidt M.H., Thewes U., Thies C., and Tscharntke T. 2004. Aphid suppression by natural enemies in mulched cereals. Entomologia Experimentalis et Applicata 113: 87-93.

31. Scholler M., Prozell S.A., Al-Kirshi G., and Reichmuth C. 1997. Towards biological control as a major component of integrated pest management in stored product protection. Journal of Stored Products Research 33: 81-97.
32. Skirvin D.J., and De Courcy W.M. 1999. Differential effects of plant species on a mite pest (*Tetranychus urticae*) and its predator (*Phytoseiulus persimilis*): implications for biological control. Experimental and Applied Acarology 23: 497-512.
33. Snyder W.E., Joseph S.B., Preziosi R., and Moore A.J. 2000. Nutritional benefits of cannibalism for the lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) when prey quality is poor. Environmental Entomology 29: 1173–1179
34. Southwood T.R.E. and Henderson P.A. 2000. Ecological methods. Blackwell Science, USA. 575pp.
35. Walker M., Jones T.H. 2001. Relative roles of top-down and bottom-up forces in terrestrial tritrophic plant-insect herbivore-natural enemy systems. Oikos 93: 177-187.
36. Warner L.A., and Croft B.A. 1982. Toxicities of azinphos methyl and selected orchard pesticides to an aphid predator, *Aphidoletes aphidimyza*. Journal of Economic Entomology 75: 410-415.
37. Yassen A., Abou El-Nour E., and Shedeed S. 2010. Response of wheat to foliar Spray with urea and micronutrients. Journal of American Science 6: 14-22.

Journal of Iranian Plant Protection Research
Vol. 35, No. 4, Winter 2022, P. 481-494

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۴۹۴-۴۸۱

The Effect of Nutritional Interaction between Micronutrient Fertilizers and *Capsicum annuum* L. on the Population Growth of *Aphidoletes aphidimyza* Rondani as Predator of Green Peach Aphid

M. Mirab-balou[1]*-T. Alizamani[2]

Received: 07-06-2021
Accepted: 02-08-2021

Introduction: Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is an important plant of belong to family Solanaceae with the origin of Mexico, which is a rich source of vitamins and beneficial antioxidants to the health and the immune system. The green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) is one of the severe important pests of bell pepper in the greenhouse, which cause damage in both direct and indirect by feeding on sap and transmitting of viral diseases. The use of insecticides is the most commonly used method for controlling *M. persicae*, but in addition to the environmental contaminating, it increased the aphid resistance to chemical pesticides. Biological control is one of the alternative methods compatible with the crop ecosystems and is an important component in integrated pest management programs. The aphidophagous midge, *Aphidoletes aphidimyza* Rondani is an appropriative and important predator of various species aphids including *M. persicae*. Also, the quality of host plants on the first level of nutrition have important effect on the eco- physiology characteristics of the predator on the third level of nutrition. In this study, the effect of foliar application of micronutrient fertilizers of iron, zinc, copper and manganese on bell pepper was investigated on the biological and demographic parameters of *A. aphidimyza* fed on *M. persicae* in greenhouse conditions.

Materials and Methods: The experiments were done as a completely randomized design with 50 replications per treatments during 2020-2021 in the greenhouse. The foliar application of micronutrient was carried out in four-to six-leaf stages with a certain amount of each fertilizer. At the beginning of the experiment, 100 eggs were considered to investigate the study of biology and the life table parameters of *A. aphidimyza* reared on the *M. persicae* fed on in each of the experimental treatments. Then daily, these eggs on the all treatments were monitored for recording incubation duration, survival rate and larval developmental duration (50 larvae). A mixture of aphids of different stages were Placed daily on each leaves treatment to feed of *A. aphidimyza*. Then, the experiments and the observations continued until the emergence of adult insects. After, a pair of male and female adult insects (15 pairs per treatment) were released into each experimental container containing leaves aphid infestation. Daily, the investigate continued for recording of pre-oviposition and oviposition duration, fecundity, male and female longevity until the death of the last individual. Recording of life table parameters and data analysis was performed using the bisexual life table method in TWOSEX-MSChart software. The results were accomplished by Tukey's post hoc Honestly Significant Difference (HSD) test for showing the mean comparisons (Mean±SE).

Results and Discussion: Based on results, the highest and lowest the intrinsic rate of increase (0.148 and 0.097 / day), the finite rate of population increase (1.160, 1.102 per day) and the net reproduction rate (15.8, and 6.42 offspring/individual) of *A. aphidimyza* were observed on iron and control treatments, respectively. The results show that there was a significant difference between the different treatments in terms of mean generation time (T) and the highest and the lowest T was obtained on control (19.003 day) and manganese treatment (18.096 day), respectively. Also, the foliar application of micronutrient fertilizers led to reduce the pre-adult time and increase, fecundity, oviposition period and the male and female longevity of *A. aphidimyza*. The results of this study show that the foliar application of plants with micronutrient fertilizers by improving the growth quality and inducing antibiotic resistance in host plants, has a positive effect on the biology and life table of *A. aphidimyza*.

Conclusion: The host plants, as the first level of nutrition, have important effects on the predator biology as the third level of nutrition. So, the use of micronutrients by improving the quality of host plants herbivorous insects can be affect the different aspects of the biological characteristics of the higher nutrient level in plant-herbivorous interactions.

1- Associate Professor of Department of Plant Protection, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, IRAN
(*- Corresponding Author Email: m.mirabbalou@ilam.ac.ir)
2- Former Ph.D. Student of Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran
DOI: 10.22067/JPP.2021.70745.1028

Therefore, the foliar application of bell pepper with micronutrient fertilizers along with the use of *A. aphidimyza* as an appropriative biological control agent for aphids can be effective in integrated management programs of *M. persicae*.

Keywords: Life table, Micronutrient fertilizer, Nutritional interaction, Three trophic study